農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施
研討會論文專輯 287-296, 1996

氣象因子對水稻生育量及產量評估技術探討

羅正宗 陳一心
臺灣省農業試驗所嘉義農業試驗分所

內 容

摘要……288
英文摘要……288
前言……289
材料與方法……289
結果……289
討論……295
引用文獻……295

氣象因子對水稻生育量及產量評估技術探討

羅正宗　陳一心
臺灣省農業試驗所嘉義農業試驗分所

摘　　要

本試驗利用嘉南地區水稻栽培面積最上位的兩個品種，臺梗二號及臺梗八號與全省栽培面積最廣的台農67號爲參試材料，於1994年二期作及1995年一、二期作在溪口及新港兩地進行氣象因子與水稻生育量及產量間相互關係之探討。試驗結果發現水稻葉片生長(抽出)所需累積溫度，於幼穗分化前之營養生長期遠較幼穗分化後之生殖生長期爲低，即營養生長期葉片抽出速率較快，此顯示水稻體質轉變前後之葉片生長速率不相同。大體而言，各品種在一期作或二期作發育至幼穗分化期或抽穗期所需累積溫度均相當；一期作達到有效分蘗終期之累積溫度較二期作爲低，但達到最高分蘗期之累積溫度在兩期作則無太大差異，一期作之有效分蘗數雖較二期作高，但或由於一期作有效分蘗終期至最高分蘗期之累積溫度較二期作爲高，其無效分蘗數亦較高。

關鍵詞：氣象因子、水稻、生育、產量。

The Effect of Agro-meteorological Factors on the Evaluation of Rice Growth and Grain Yield

Jeng-Chung Lo and Yi-shin Chen (Department of Agronomy, Chiayi, Experiment Station, Taiwan Agricultural Research Institute, Taiwan, ROC)

ABSTRACT: The objective of this research was to evaluate the relationship between agro-meteorological factors and rice growth and grain yield. The field experiment were conducted using three cultivars TK2, TK8 and TNG67 in three crop seasons at two locations. The results indicated that the thermal unit model using temperature accumulation was stable estimation than calender days for predicting rice growth stage at different crop seasons and locations. The accumulated temperature required to reach panicle initiation and heading were similar in different crop seasons in different locations. Therefore, the precision of the temperature function maybe helpful for evaluate the objective of this research, but further experimental efforts is necessary to identify the growth stage of rice.

Key words: Agro-climatic factors, Rice, Growth and development, Yield.

一、前　　言

國內農作物生產現況，水稻雖是缺乏競爭能力的產業，但稻米之供應充足與否，對民生及社會安定具有一定影響，而且，未來台灣加入世界貿易組織(WTO)之後，農業所面臨的壓力甚大，政府再三宣示爲了照顧廣大稻農，將水稻列入重點保護產業，期以安定國內水稻生產供應，以應不時之需。於糧食生產政策上除加强稻米的品質之途徑外，在量的方面，對國內水稻生產量估測工作亦頗爲重視。爲了落實國內水稻生產政策對生產量的掌控相當重要，因而建立水稻產量預測及評估技術而獲得一定時期國內生產量資訊是非常必要的，評估技術之建立需以水稻生育與氣候間互動影響的理念爲根基，確實掌握全年國內水稻生產量資訊接近實際情況，利用水稻生育量及產量與氣象變數間的函數關係，爲首要工作任務與目標。

瞭解氣象變數對作物生長發育的影響，從而建立作物生育量及產量的預估模式是作物及氣象科學研究上重要的目標之一。在美國，重要的糧食作物如玉米、大豆及小麥等作物，目前均已發展出具有相當良好預測能力的產量估計模式(孔，1989)。水稻是本省最重要的作物, 日本亦已發展出水稻產量的預估模式(Horie *et al.*, 1992)。過去國內雖有若干學者嘗試建立台灣地區水稻產量的估計模式，如郭(1980)，何(1980)，沈(1983)及李(1990)等，惟這些模式仍未發展至實用階段, 在氣象異常年時預測能力仍嫌不足。

水稻產量的形成是由於一系列相承發育的產量構成因素之生長過程，此循一定發育順序的生長過程均受當時之生長環境所影響，氣象變數並非直接影響產量，是在不同生育階段透過對產量構成因素的影響而間接影響產量(鄔，1979)。因此，若欲由氣象變數來建立水稻產量的預估或估測模式，應先瞭解水稻產量構成因素的發育過程，及不同階段各生育量與氣象變數間的關係，尋求影響各構成因素之生長、發育的主要氣象變數與時期，才能建立預估能力較高的模式(李，1990)。

二、材料與方法

1. 參試品種：

利用嘉南地區水稻栽培面積最上位的品種，台梗2號與台梗8號及全省栽培面積最廣的品種台農67號爲參試材料。

2. 試驗時期、地點與方法：

於1994年二期作及1995年一期及二期作，於本分所溪口試驗農場及新港一篤實農家進行試驗，依一般機插生產作業方式，多本植, 行株距30x18cm。

3. 調查方法：

於每品種田圃中依對角線分法選取六點，以每一點之選株爲中心，周圍25株爲調查對象，於插秧後立即調查，而後每週調查一次，調查項目爲葉齡，分蘗數及株高，及至收穫期，調查單位面積(每平方公尺)之產量及產量構成因素，並自插秧開始，於本分所溪口試驗農場二級氣象站與新港試區之氣象儀器所蒐集的氣象資料，包括每日最低溫、最高溫、日均溫、雨量、日照時數，以旬爲單位，作爲探討水稻生長發育與氣象變數間的關係之用。

三、結　　果

(一)、水稻不同生育階段的生育量之變化

表一至表三爲三個期作在新港及溪口兩地所調查之各參試品種的葉齡指數(LNI)，單位面積分蘗數(m^{-2})與累積溫度間的關係，累積溫度爲每日日均溫之累積，葉齡指數爲水稻不同生育階段生長抽出之葉齡除以全生育期之總葉數，結果顯示各品種之葉片抽出速率於幼穗分化期爲分界，即營養生長期與生殖生長期各有所不同，即幼穗分化之前的營養生長期葉片抽出所需之累積溫度較幼穗分化之後的生殖生長期爲低，

且各品種在各期作中均有此現象，此顯示水稻體質轉變前後之葉片生長速率不相同。另就各品種在不同期作中，發育至幼穗分化所需之累積溫度的變化觀察結果，顯示三個品種之間彼此不同，兩期作水稻發育至幼穗分化期所需的累積溫度各品種於兩地區均相近，即不同期作間至幼穗分化爲止所累積溫度二期作較一期作爲低，但是不論一期作或二期作，兩個地區三品種的累積溫度相當。至於決定單位面積穗數的時間，也就是有效分蘗終期，其所需累積溫度而言，一期作(880)較二期作(930)略低，但達到最高分蘗期所需之累積溫度，一期作(1320)則較二期作(1150)爲高；由有效分蘗終期至最高分蘗期間的分蘗數爲無效分蘗，而由有效分蘗終期發育至最高分蘗期之累積溫度，一期作約爲440較二期作之220爲高，相對地一期作之無效分蘗亦較二期作爲高。

Table 1. The relationship between leaf number index (LNI) and tiller number (m^{-2}) and growing degree day (G.D.D.) on three rice cultivars at two locations for 2nd crop, 1994.

Location	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
	0.24	74.08	0.22	100.0	0.23	74.08	0
	0.28	74.08	0.27	100.0	0.27	74.08	169.4
	0.39	79.64	0.37	103.7	0.38	74.08	321.8
	0.53	116.7	0.52	144.5	0.52	140.8	555.4
	0.64	172.2	0.63	196.3	0.62	222.2	736.0
Sinkang	0.72	259.3	0.75	293.2	0.72	292.6	938.0
	0.79	341.1	0.81	322.3	0.80	370.4	1103.9
	0.84	360.4	0.85	344.5	0.85	385.2	1216.5
	0.90	340.4	0.92	333.4	0.90	381.5	1395.3
	0.97	320.4	0.97	300.0	0.97	362.9	1563.3
	1.00	318.2	1.00	294.2	1.00	340.2	1660.2
	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
	0.25	55.6	0.24	107.4	0.24	103.7	0
	0.31	55.6	0.30	107.4	0.31	103.7	273.2
	0.46	88.9	0.42	111.1	0.46	129.6	511.2
	0.60	148.2	0.58	229.7	0.61	240.8	779.5
Shiko	0.69	163.0	0.71	222.2	0.70	248.2	957.6
	0.78	244.5	0.79	296.3	0.78	337.1	1132.3
	0.85	251.9	0.86	296.3	0.86	333.4	1321.9
	0.90	248.2	0.91	277.8	0.92	318.5	1487.0
	0.96	240.8	0.97	261.9	0.97	288.9	1665.7
	0.99	231.4	1.00	261.9	1.00	284.1	1744.7

Table 2. The relationship between leaf number index (LNI) and tiller number (m^{-2}) and growing degree day (G.D.D.) on three rice cultivars at two locations for 1st crop, 1995.

Location	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
	0.18	103.7	0.18	100.0	0.19	122.2	0
	0.22	103.7	0.24	100.0	0.23	122.2	175.7
	0.28	103.7	0.28	100.0	0.28	122.2	243.4
	0.34	103.7	0.34	100.0	0.33	122.2	461.3
	0.43	107.4	0.41	107.4	0.43	125.9	591.8
	0.49	111.1	0.47	111.1	0.50	137.1	704.4
Sinkang	0.60	240.8	0.59	166.7	0.62	337.1	878.0
	0.65	393.7	0.65	359.3	0.68	407.4	990.1
	0.73	432.4	0.72	381.5	0.76	470.4	1133.8
	0.79	470.4	0.81	422.3	0.82	511.2	1296.5
	0.85	459.3	0.86	392.6	0.88	503.7	1458.3
	0.90	429.7	0.93	363.0	0.95	463.0	1705.5
	0.97	418.6	0.98	348.2	1.00	451.9	1877.0
Location	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
	0.17	172.2	0.17	118.5	0.18	107.4	0
	0.21	172.2	0.21	118.5	0.21	107.4	119.4
	0.27	172.2	0.28	118.5	0.28	107.4	235.3
	0.33	172.2	0.34	118.5	0.34	107.4	403.7
	0.42	190.8	0.44	118.5	0.44	107.4	568.0
	0.49	196.3	0.50	122.2	0.51	107.4	695.5
Shiko	0.59	263.0	0.61	174.1	0.63	237.1	888.1
	0.63	422.3	0.65	262.2	0.67	338.5	994.1
	0.69	555.6	0.74	370.4	0.75	422.3	1152.1
	0.77	574.1	0.80	426.0	0.83	450.0	1335.3
	0.83	474.1	0.87	392.2	0.89	420.0	1516.6
	0.91	450.0	0.94	359.3	0.95	392.6	1756.5
	0.95	448.2	0.98	344.5	1.00	381.5	1877.9
	0.97	343.7	1.00	263.7	1.00	322.3	1949.8

Table 3. The relationship between leaf number index (LNI) and tiller number (m^{-2}) and growing degree day (G.D.D.) on three rice cultivars at two locations for 2nd crop, 1995.

Location	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
Sinkang	0.22	96.30	0.22	103.7	0.21	122.2	0
	0.31	96.30	0.31	103.7	0.31	122.2	211.0
	0.43	96.30	0.43	103.7	0.44	122.2	428.1
	0.53	148.2	0.53	140.8	0.54	163.0	591.7
	0.65	277.8	0.65	240.8	0.66	274.1	794.7
	0.73	322.3	0.74	311.5	0.75	326.0	991.6
	0.80	340.8	0.82	281.7	0.83	333.4	1191.4
	0.89	333.0	0.90	278.8	0.92	330.0	1419.8
	0.96	324.4	0.96	275.0	0.97	307.4	1577.7
	0.99	314.8	0.99	270.0	1.00	303.7	1747.3

Location	TK2		TK8		TNG67		G.D.D.
	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	LNI	Tiller No.	
Shiko	0.21	111.9	0.21	100.0	0.21	85.2	0
	0.37	111.9	0.37	100.0	0.31	85.2	287.1
	0.47	143.0	0.46	111.1	0.45	132.2	484.0
	0.58	165.2	0.58	175.9	0.60	148.4	688.9
	0.65	185.6	0.66	225.9	0.67	196.3	837.3
	0.76	250.2	0.78	259.4	0.78	258.5	1129.5
	0.83	222.1	0.85	237.7	0.86	231.3	1315.9
	0.89	211.0	0.91	229.7	0.91	201.4	1480.5
	0.98	204.1	1.00	203.7	1.00	199.6	1814.4

(二)、水稻生育過程之氣象變化與產量及其構成因素間之關係

圖一及圖二為試驗期間兩試驗地點之氣象因子的變化情形，94年八月份即試驗插秧初期，相繼有兩個颱風來襲，使雨量突增，日照時數降低，日均溫受最高溫度之降低而下降。但十月以後，降雨量甚少，95年二月及三月呈現持續低溫，95年六月中旬降雨量多，其他月份則較少，就整年日照時數而言，變化幅度甚大。三個期作在兩個試驗地點之各品種的產量變化示如表四至表六，單位面積產量以95年一期作最高，其原因主要為單位面積穎花數(單位面積穗數×每穗穎花數) 較高所致，三期作中，溪口試區之單位面積穗數均低於新港試區，而除95年二期作新港試區因稻細蟎為害，導致水稻葉鞘及莖腐敗，致使稻株倒伏，稔實率下降之外，94年二期作及95年一期作兩試驗地區之稔實率相似。94年二期作，兩試區各品種之千粒重均明顯較95年一、二期作為低。

Table 4. The grain yield and yield components of three rice cultivars at two locations for 2nd crop, 1994.

Location	cultivar	Panicle No. (m^{-2})	Spikelets No. per panicle	Fertility (%)	1000-grain weight (g)	Grain yield ($g\ m^{-2}$)
Sinkang	TK2	314.07	91.274	82.53	24.24	573.50
	TK8	282.22	84.848	83.91	24.48	491.88
	TNG67	332.89	92.756	84.01	23.00	596.49
Shiko	TK2	229.70	94.038	89.60	25.57	494.95
	TK8	261.63	99.648	87.48	25.70	586.17
	TNG67	281.51	94.096	88.82	24.70	581.12

Table 5. The grain yield and yield components of three rice cultivars at two locations for 1st crop, 1995.

Location	cultivar	Panicle No. (m^{-2})	Spikelets No. per panicle	Fertility (%)	1000-grain weight (g)	Grain yield ($g\ m^{-2}$)
Sinkang	TK2	272.62	103.84	91.71	26.76	694.75
	TK8	253.59	109.66	89.28	26.48	657.43
	TNG67	305.03	103.65	90.32	25.98	741.72
Shiko	TK2	286.53	112.35	89.72	26.53	766.23
	TK8	219.75	121.19	89.30	26.58	632.12
	TNG67	268.52	121.29	87.87	25.45	728.34

Table 6. The grain yield and yield components of three rice cultivars at two locations for 2nd crop, 1995.

Location	cultivar	Panicle No. (m^{-2})	Spikelets No. per panicle	Fertility (%)	1000-grain weight (g)	Grain yield ($g\ m^{-2}$)
Sinkang	TK2	290.00	112.44	74.03	25.46	614.59
	TK8	269.07	117.46	75.59	26.04	622.10
	TNG67	294.13	114.41	78.20	25.16	662.10
Shiko	TK2	185.80	124.88	93.87	26.90	585.89
	TK8	191.98	115.59	92.70	25.71	528.87
	TNG67	192.59	113.17	90.33	25.50	502.05

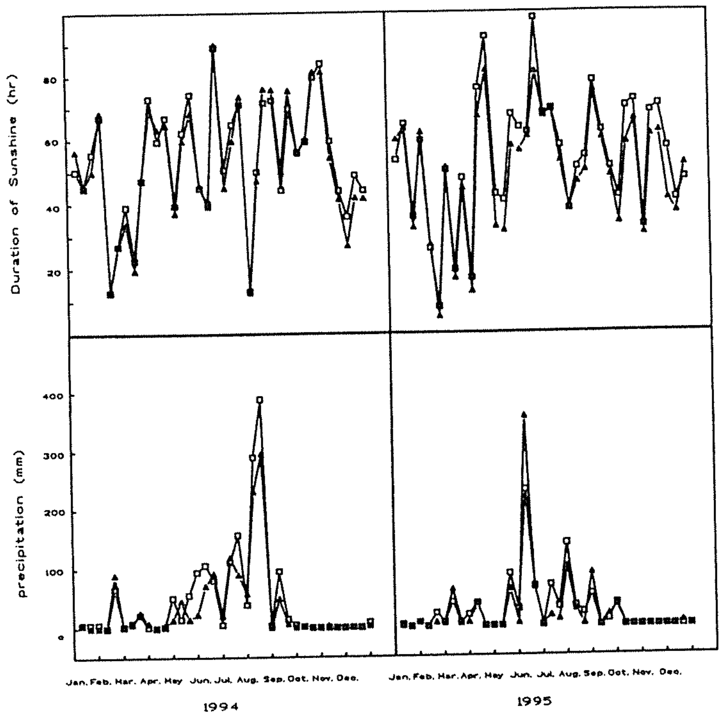

Fig 1. Changes of precipitation and sunshine during the experimental period at Sinkang (□) and Shiko (△)

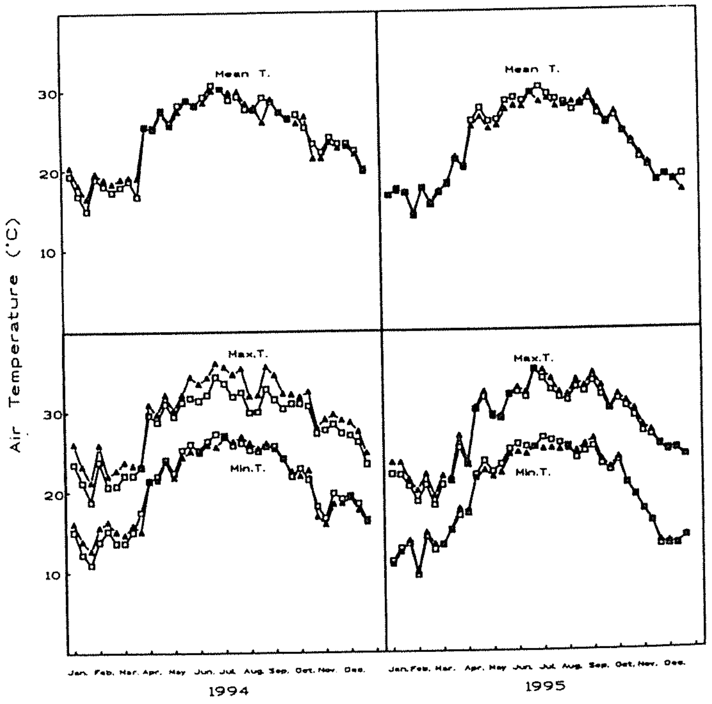

Fig 2. Changes of air temperature during the experimental period at Sinkang (□) and Shiko (△)

四、討　論

水稻葉片之生長速率除受環境影響外，由本試驗觀察中亦發現營養生長期與生殖生長期之生長速率並不相同，本試驗所調查之葉齡指數配合Matsushima (1980)所述之水稻各生育階段與葉齡指數的關係, 再予以結合累積溫度分析，結果顯示營養生長期每單位葉齡指數生育所需累積溫度爲1800至2000(℃)，生殖生長期間則需3000至3600(℃)，在營養生長期水稻內部物質僅供稻株之營養生長，但幼穗分化後則另需供予幼穗發育之用，稻田(1994)認爲水稻葉色(葉綠素計值)於幼穗分化時會下降，即是因此原因所致。劉(1990)亦曾利用溫度單位作爲劃分水稻生育期可行性之研究,其發現利用修飾生育度數法(每日最高溫與最低溫之平均減去生育基礎溫度之總和)劃分各生育階段較傳統之生育日數法穩定,其定基礎溫度爲12.5℃，但在一般作物發育氣候模式中，需以10℃作爲基礎溫度，唯若干學者均曾指出以10℃作爲基礎溫度並不合理，因爲基礎溫度不但因物種之不同而異，即同一物種內的不同品種間，甚至同一品種之不同發育階段之間也有明顯的差異(Keulenand Wolf ，1986; Jones et al., 1987; 邱，1993)。劉(1990) 認爲不同時期插植，生育至各階段之生育度數應相近，本試驗結果顯示水稻各品種發育之各不同生育時期所需累積溫度二期作較一期作低，但因一期作生育日數較長，所累積之基礎溫度亦較高，唯若每日去除劉(1990)所定之基礎溫度，試驗結果顯示每一品種之生育基礎溫度並不相同，此或可解釋其原因。

以水稻葉齡指數代替傳統生育日數法，雖較麻煩，且水稻葉片數目亦受環境影響而改變，但在未有其他較佳的方式呈現作物生育階段的情況下，卻較能反映稻株實際狀態，由本試驗調查之水稻有效分蘖終期日數結果，顯示二期作較一期作所需日數短，但事實上二期作達到有效分蘖之葉齡指數較大，所需之累積溫度亦較高，達到最高分蘖期之葉齡指數，二期作亦較高，一期作自有分蘖終期至最高分蘖期之日數與累積溫度均較二期作爲高，致使其無效分蘖亦較高。利用累積溫度預測作物生長期，除需瞭解溫度外，尙包括光照、土壤、水分及作物本身的發育，因此欲以積溫模式來預測作物生長期，應在廣泛的環境之下蒐集具有代表性的資料，以作爲建立模式的基礎(Daughtry et al., 1984; Russelle et al., 1984; 許，1990; 邱，1993)。

就水稻產量而言，氣象變數透過其對各構成因素的影響，因而間接影響產量(鄖，1979)。故經由氣象變數對各構成因素影響的研究，再據之探討氣象變數對產量的影響，應是較合理且可行的途徑(李，1990)。惟就水稻產量構成因素決定時期之探討,於解剖學上之研究雖甚多，但無法由稻株外在之特徵得知，故本試驗所採用之葉齡指數的方法應是較可行的方式。但在目前作物發育氣候學(Phenology) 研究相當風盛之際，未來我們亦將針對此一方向探討水稻生長發育與氣候間的關係，試圖利用氣候條件之變化預測水稻之生育期，並探究了解各產量構成因素之決定時期。利用此技術於栽培措施上可因實際田間狀況施予不同處理，因而改善產量構成因素之結構，因此當我們進行水稻生育量及產量評估技術之探究同時，可因水稻產量構成因素相承發育特性之結果，尋求一改善水稻產量構成因素結構之栽培措施方法，此則可提高農民生產效率。

五、引用文獻

許福星，1990。度積溫在作物栽培管理上之應用。科學農業 38: 138-141。

李蒼郎，1990。氣象因子對水稻產量構成因素之影響及產量估計模式。國立中興大學農藝學研究所碩士論文，pp83。

劉瑋婷，1990。溫度單位對水稻植株生育及產量之影響。國立中興大學農藝學研究所碩士論文，pp76。

孔震成，1989。長期氣象預報在作物產量預測之應用。臺灣地區農業氣象資源研討會專集 p201-215。

沈寶齡，1983。利用主成分回歸分析法以水稻生長期中氣象因子建立穀物產量之預測模式。國立臺灣大學農藝學研究所生物統計組碩士論文，pp43。

何惠，1980。水稻產量預測之研究。國立臺灣大學農藝學研究所碩士論文，pp 84。

郭文鑠、曾文柄、楊之遠、鄭淑賢，1980。臺灣地區氣象因子與水稻產量預測模式之初步研究。氣象學報 26(1-2): 71-79。

鄔宏潘，1979。氣象因素及地區對一、二期作稻產量之影響。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集 p39-48。

稻田勝美，1994。葉色の測定とその營養.生育診斷への利用。農業および園藝 69(3): 57-62。

Daughtry, C. S. T. and S. E. Hollinger. 1984. Estimating silking and maturity dates of corn for large areas. Agron. J. 76: 415-420.

Horie, T., M. Yajima and H. Nakagawa. 1992. Yield forecasting. Agricultural system 40: 211-236.

Jones, J. W., J. W. Mishoe and K. J. Boote. 1987. Introduction to simulation and modelling. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific region. Tech. Bull. No. 100. 19p.

Matsushima, S. 1980. Rice cultivation for the million. p25-55. Japan Scientific Societies Press, Tokyo.

Russele, M. P., W. W. Wilhelm, R. A. Olson and J. F. Power. 1984. Growth analysis base on degree days. Crop Sci. 24: 28-32.